

# ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EM UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL, EM GOIOERÊ-PR

ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM INSTALLED IN A COMMERCIAL BUILDING IN GOIOERÊ –PR

CAROLYNE RUBIM KELLER<sup>1\*</sup>, EDENIR CARVELLI<sup>2</sup>

1. Acadêmica do curso de graduação em Engenharia Civil da UNINGÁ - Centro Universitário Ingá; 2. Engenheiro Civil, Especialista pela Universidade Estadual de Maringá, docente do curso de graduação em Engenharia Civil e Engenharia Mecânica da UNINGÁ - Centro Universitário Ingá.

\* Rua Pioneiro Jurandyr Schelles, 475, Jardim Dias, Maringá, Paraná, Brasil. CEP: 87025-769. [carolyne-keller@hotmail.com](mailto:carolyne-keller@hotmail.com)

Recebido em 15/09/2016. Aceito para publicação em 09/11/2016

## RESUMO

A questão ambiental vem sendo debatida em convenções realizadas no mundo desde a década de 70, devido aos problemas enfrentados pela humanidade. Tendo em vista que o setor energético gera diversos problemas ao meio ambiente no decorrer do seu processo, desde a captura dos recursos naturais até seu uso final, passaram a desenvolver diversas fontes de energias renováveis, dentre elas a mais interessante é a tecnologia solar fotovoltaica, pois utiliza a maior fonte de energia da Terra. Os raios solares incidem sobre os módulos fotovoltaicos, que por sua vez convertem a energia solar em corrente elétrica contínua, e por meio de um inversor, esta energia é transformada em corrente alternada e injetada na rede da concessionária, de modo que o excedente ao seu uso gera créditos, podendo ser utilizados nos períodos que não há geração por meio do sistema fotovoltaico. Através do tempo de retorno do investimento, pode-se demonstrar o tempo necessário para obter o valor investido. Após este período, a geração do sistema se torna lucro para o proprietário, pois utilizará energia sem pagar para concessionária.

**PALAVRAS-CHAVE:** Meio ambiente, sistema fotovoltaico, tempo de retorno.

## ABSTRACT

The environmental issue has been debated in conventions held around the world since the 70s, due to the problems faced by humanity. Given that the energy sector is responsible for many problems of the environment during the course of its process, from capture of natural resources to its final use, they began to develop different sources of renewable energy, among which the most interesting is the solar photovoltaic technology, it uses the largest source of energy on earth. The solar rays fall on photovoltaic modules, to convert solar energy into continuous electric current, and through an inverter, this energy is converted into alternating current and is injected into the mains city system, so that the excess generates credits and may be used during periods that there is no generation by the photovoltaic system. Through the discounted payback, it can be shown the time needed to get back the amount invested. After this period, the generation of the system becomes profit for the

owner, making it possible to use energy without paying for utility.

**KEYWORDS:** Environment, photovoltaic system, discounted payback.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da Segunda Guerra Mundial as questões ambientais começaram a gerar discussões, tendo em vista que o crescimento e o desenvolvimento populacional proporcionaram maior impacto ao meio ambiente. Dentre os problemas destacam-se a destruição da camada de ozônio devido a emissão de gases poluentes, o desmatamento e o esgotamento dos recursos naturais. A partir disso, o ideal seria a busca por recursos renováveis e a conscientização da população em relação ao uso dos recursos não renováveis. Desse modo, tornou-se necessário criar organismos políticos e estruturas jurídicas para proteger o meio ambiente<sup>1</sup>.

Os problemas ambientais enfrentados pelo mundo, começaram a ser debatidos na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972, na cidade de Estocolmo, Suécia, onde houve o reconhecimento por parte dos Estados dos problemas que seriam enfrentados devido a devastação da natureza por parte da ação humana. Aquela conferência também contou com o debate entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, pois os países desenvolvidos estavam apreensivos com as consequências da problemática sobre a terra, propondo um programa internacional voltado à conservação dos recursos naturais e a genética do planeta. No entanto, os países em desenvolvimento alegaram a necessidade do desenvolvimento econômico, visto estarem enfrentando problemas com moradia, saneamento básico, doenças infecciosas, dentre outros. Contestavam o fato de que os países desenvolvidos teriam atingido o poderio industrial com o uso predatório dos recursos naturais e agora queriam estabelecer a eles condições de controle ambiental, encarecendo e desacelerando o crescimento

dos países em desenvolvimento<sup>2,3</sup>.

Em 1992, foi realizada a segunda Conferência da Organização das Nações Unidas, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, tendo a participação de 172 países, incluindo chefes de estado. Organizações-não-governamentais e jornalistas puderam acompanhar as reuniões. Esta foi elaborada para verificar se os países haviam desenvolvido a proteção ambiental desde a Conferência de Estocolmo em 1972. Um importante documento desenvolvido na Conferência “Rio 92” foi a Agenda 21. Esta Agenda é um extenso plano de ações a ser implantado pelos governos e estados, considerando as situações e condições dos países, na efetivação nos locais onde a ação humana prejudica direta ou indiretamente o meio ambiente<sup>2,4</sup>.

Após diversas outras convenções para discutir a respeito da problemática enfrentada, realizou-se novamente na cidade do Rio de Janeiro, no ano de 2007 a “Rio + 15”. Nesta, reuniram-se os membros participantes da “Rio 92” para apresentar Resumo dos Co-Presidentes. Resumo este que descreveu as conclusões obtidas após toda discussão sobre o meio ambiente, dentre elas estão as prováveis alternativas a serem tomadas para contribuir com o meio ambiente. Porém, uma temática preocupante é a emissão de gases do efeito estufa, sem a apresentação de soluções efetivas, apenas a redução de 5% das emissões por parte dos países desenvolvidos. Cabe aos países em desenvolvimento, isentos do acordo, o dever de voltar-se para redução das emissões, visto ser a responsabilidade de todos<sup>5,6</sup>.

O termo sustentabilidade sugere a definição de “satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras”. Desse modo, tornou-se algo muito debatido em diversas áreas em todo o mundo. O termo aparece para defrontar a crise ecológica vivida, suscitar a conscientização, o compromisso e uso consciente dos recursos naturais. Assim, é primordial que os seres humanos adaptem seus hábitos de vida, incluindo a diminuição do uso da energia, pois os impactos gerados, causaram e vem causando efeitos drásticos ao meio ambiente<sup>7,8,9</sup>.

Como o setor energético gera diversos problemas ambientais em todo seu processo, desde o uso dos recursos naturais até seu uso final, passou-se a desenvolver possíveis soluções na geração de energia renovável e sustentável, energia alternativa. Com isso, as discussões, em torno da temática, foram sendo divulgadas, de maneira que atualmente a energia se destaca como um bem primordial para inclusão do ser humano no crescimento mundial, viabilizando uma série de oportunidades e variedades de opções, tanto para sociedade quanto para o indivíduo, pois sem uma fonte de energia segura, limpa e inesgotável e de valor acessível, a economia tende a não desenvolver, tornando desfavorável o aumento da qualidade de vida, tais como educação, saneamento e

saúde pessoal<sup>10</sup>.

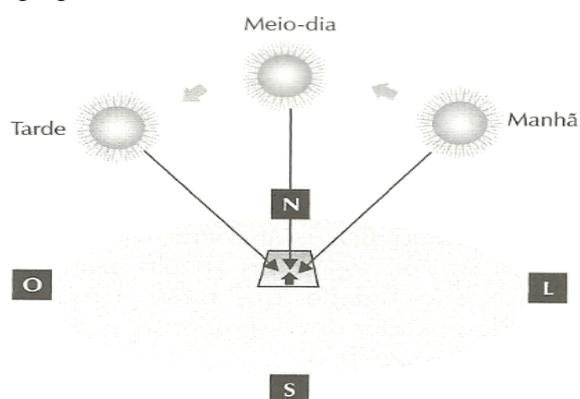
Atualmente, a tecnologia fotovoltaica continua crescendo na Europa, Japão e Estados Unidos, devido à implantação de sistemas residenciais atuando em paralelo a concessionária de energia. Pode-se enfatizar que a tecnologia fotovoltaica se manterá em crescimento, e o aperfeiçoamento desta, a tornará mais acessível levando a ter maior saída no mercado energético<sup>11</sup>.

Inicialmente no Brasil, a tecnologia fotovoltaica era aplicada apenas em sistemas isolados ou autônomos, por meio do Programa Luz para Todos criado pelo Governo Federal em 2003, feito para atender a população em locais que não possuíam rede elétrica. Hoje, a tecnologia vem crescendo devido a permissão dada pela “Agência Nacional de Energia Elétrica através da resolução nº 482 de 2012 para o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição”. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, o Brasil possui 2,6 GW de potência já contratada de geração fotovoltaica, tendo potencial solar para atingir 200 GW de potência instalada. Já o estado do Paraná necessita voltar-se para utilização de fontes de energia renováveis, devido fato de que 93% da geração elétrica deriva de fontes hidrelétricas. Tendo em vista que o estado possui alto índice de irradiação solar, torna-se satisfatório o uso da energia fotovoltaica, para diminuir a dependência sobre a matriz hidrelétrica<sup>12,13,14</sup>.

Contrastando com esses dados pode-se verificar que o município de Goioerê, por ser uma cidade pequena, possui apenas um registro da utilização da tecnologia fotovoltaica. Este sistema foi implantado em uma empresa e-commerce presente na cidade. Esta preza pela contribuição ao meio ambiente. Desse modo, possui diversas práticas internas voltadas à sustentabilidade, dentre elas estão o reaproveitamento de resíduos orgânicos, coleta e reaproveitamento da água da chuva, além do prédio verde, com iluminação e ventilação apropriadas, possibilitando a redução do uso de energia elétrica<sup>15</sup>.

A tecnologia fotovoltaica se faz possível através do uso do sol, sendo a maior fonte de energia da Terra. Esta energia é conduzida por ondas eletromagnéticas paralelas entre si e chegam à Terra em linha reta. Ao adentrar a atmosfera ocorre o efeito da difusão e os raios solares são desviados e refletidos em todas as direções, mas a radiação direta que representa a maior parte permanece em linha reta. A radiação direta incide no solo com inclinação distinta conforme a posição da Terra e do sol no espaço, em relação à radiação difusa não há o que fazer para melhorar sua captação, pois ela incide na superfície terrestre de forma aleatória e irregular, ainda assim a potência total recebida pela Terra é 172.000 TW. Quanto à quantidade de radiação solar varia de acordo com as estações do ano, região, latitude, altitude, condições meteorológicas do local. Como o Brasil localiza-se, em sua maioria, na região inter-tropical, possui elevado índice de radiação solar durante todo ano, cerca de 1500 a 2500

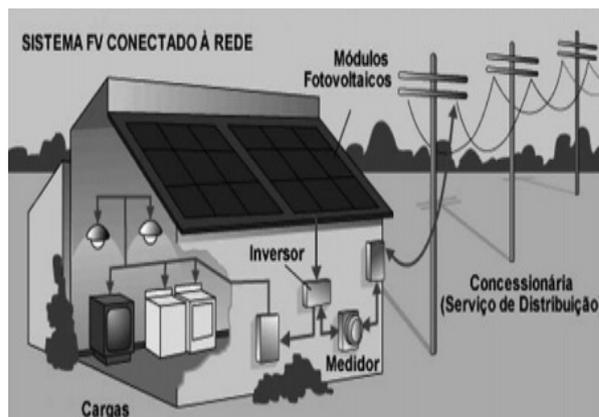
kWh/m<sup>2</sup>. Dessa forma, possui vantagens em relação aos países desenvolvidos no que se refere ao uso da tecnologia fotovoltaica. Para que haja maximização na captação da radiação direta, deve-se considerar o movimento diário do sol e a orientação dos módulos fotovoltaicos. Portanto, é necessário direcionar a face dos módulos ao norte geográfico, conforme a Figura 1. Assim, durante todo o dia haverá raios solares incidindo sobre sua superfície, com maior aproveitamento ao meio-dia solar, quando os módulos ficam precisamente de frente para o sol. Porém, é primordial escolher corretamente a inclinação dos módulos com o plano horizontal, de modo que gere uma satisfatória produção média de energia ao longo do ano. Vale ressaltar que para regiões situadas acima da linha do equador deve-se orientar os módulos para o sul geográfico<sup>12,16,17</sup>.



**Figura 1.** Orientação azimutal correta do módulo solar, com sua face voltada para o norte geográfico.

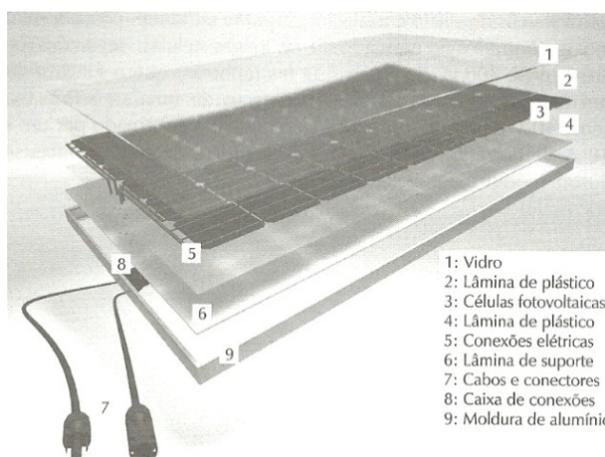
Para o funcionamento de um sistema fotovoltaico torna-se necessário alguns elementos, sendo eles: módulos fotovoltaicos, inversor CC-CA, rede elétrica, medidor de energia e cargas. O arranjo de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica está expresso na Figura 2. Basicamente, trata-se da instalação de placas fotovoltaicas que recebem a luz do sol e a transformam em corrente contínua. O inversor converte esta corrente elétrica para corrente alternada. Após, utiliza-se um medidor para registrar a energia que o estabelecimento consome da rede elétrica e a energia que o estabelecimento gera e exporta para a rede<sup>18</sup>.

Essa tecnologia compreende a célula fotovoltaica responsável pelo efeito fotovoltaico que permite a transformação de energia solar em corrente elétrica contínua. Esse processo ocorre quando a radiação solar incide sobre uma célula constituída por materiais semicondutores, sendo mais utilizado o silício, pois possui uma tecnologia bem desenvolvida, não é tóxico e apresenta-se disponível em excesso no planeta e é proveniente da extração do minério de quartzo<sup>12</sup>.



**Figura 2.** Configuração de um sistema fotovoltaico

Dessa forma, no sistema em estudo, foram empregadas células de silício policristalino, confeccionadas com cristal de quartzo submetidos a altas temperaturas, de modo que ocorra a formação de cristais denominado método de Czochralski. Assim, o produto derivado é o lingote de silício policristalino. O lingote é serrado e fatiado em forma de finas bolachas de silício, dando origem aos wafers, como este ainda não dispõe das características de uma célula fotovoltaica, são sujeitos a procedimentos químicos para receber impurezas em ambos os lados, dando origem as camadas de silício P e N que constituem os parâmetros para o desempenho da célula fotovoltaica. Por fim, a célula recebe uma película metálica em uma das faces, uma grade metálica na outra e uma camada de material antirreflexivo na face onde receberá luz, tendo assim, o produto final. As células policristalinas possuem aparência heterogênea e normalmente apresentam-se na cor azul, elas são associadas para formar painéis, placas ou módulos fotovoltaicos<sup>12</sup>.



**Figura 3.** Componentes de um módulo fotovoltaico.

Os módulos fotovoltaicos são montados sob uma estrutura rígida, constituídos de células fotovoltaicas ligadas em série, de modo que o terminal superior de uma célula seja conectado ao terminal inferior da outra,

e assim sucessivamente, para obter aumento da tensão. As células e conexões elétricas são prensadas por lâminas plásticas, o módulo recebe uma lâmina de vidro e por fim uma moldura de alumínio. Na parte traseira, o módulo recebe uma caixa de junção elétrica onde são conectados os cabos elétricos, para isso são utilizados conectores do tipo MC4<sup>19</sup>.

No acesso dos módulos fotovoltaicos, a eletricidade é feita através de dois tipos de cabos elétricos, sendo um para corrente contínua e outro para corrente alternada. O cabo de corrente contínua é responsável pela ligação entre a caixa de junção existente na parte traseira do módulo e o inversor, já o cabo de corrente alternada faz a conexão entre o inversor e a rede receptora. O inversor é um equipamento que recebe energia elétrica dos módulos fotovoltaicos, em forma de corrente contínua e a transforma em corrente alternada, este possui diversas atribuições, dentre elas, destaca-se a capacidade de rastrear o ponto de máximo de potência, ou seja MPPT – Maximum Power Point Tracking, fazendo ajustes para que o sistema opere próximo a este ponto, que se altera de acordo com a incidência da radiação solar. Em sistemas interligados à rede da concessionária a tensão de saída do inversor deve ser compatível a tensão da rede, de modo a contribuir de forma efetiva e com qualidade ao injetar energia na rede<sup>20,18</sup>.

Um dos fatores prejudiciais a eficiência dos módulos fotovoltaicos é a ocorrência de sombreamento, com ele, os módulos passam a receber pouca ou nenhuma luz. Na maior parte dos casos, as sombras são provenientes de folhas e poeiras. Para minimizar esta adversidade é imprescindível instalar os módulos com um ângulo mínimo de 10°, deste modo a remoção é feita naturalmente, mas no caso de haver dejetos de pássaros, deve-se fazer a limpeza dos módulos regularmente. Para diminuir o efeito do sombreamento nos módulos fotovoltaicos, os fabricantes passaram a utilizar o diodo de by-pass ligados em paralelo para grupos com um certo número de células. Assim, mesmo havendo uma célula escurecida, as outras continuam produzindo corrente, uma vez que a corrente da célula problemática é desviada pelo diodo em paralelo<sup>21</sup>.

O sistema fotovoltaico proporciona benefícios, dentre eles, está a viabilidade econômica que pode ser demonstrada através do payback descontado, conhecendo-se para isso, o investimento inicial, o fluxo de caixa ao longo dos anos e a porcentagem de reajuste médio anual de energia<sup>22</sup>.

Desse modo, o presente artigo visa enfatizar a importância do uso de fontes de energia renováveis, apresentando um estudo de caso referente a um sistema fotovoltaico instalado em uma edificação comercial de Goioerê, com o objetivo de analisar o tempo de retorno que o investimento terá, assim como fazer a comparação entre a geração mensal de energia, considerando a perda

de rendimento dos módulos, ou seja valores obtidos através do dimensionamento e a geração mensal real obtida através do sistema.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do presente estudo foi dividido em onze fases, além do levantamento bibliográfico por meio de consultas em livros, artigos, fichas técnicas, manuais e publicações que se referem ao assunto. Feito o levantamento bibliográfico, a primeira fase consistiu na busca de informações sobre materiais e equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico. Na segunda fase, foi verificado o rendimento dos módulos na ficha técnica do fabricante. Na terceira e quarta fase, realizou-se o cálculo da geração anual de energia, levando em conta a perda de rendimento dos módulos e a geração acumulada de energia, respectivamente. Durante a quinta fase, foi determinada a porcentagem de reajuste médio anual de energia. Simultaneamente a anterior, realizou-se a sexta fase que consistiu em determinar o custo do kWh/mês sem impostos. Na sétima e oitava fase, calculou-se a economia gerada por ano, e a economia gerada anual acumulada. Na nona fase foi executado o cálculo do retorno de investimento. A décima etapa consistiu em calcular a geração mensal de energia considerando a perda de rendimento dos módulos. Por fim, a décima primeira fase resumiu-se nos dados reais de geração mensal de energia resultante do sistema.

### 2.1. Primeira fase: Materiais e equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico

Realizou-se através de informações fornecidas pela Paraná Solar Energy sobre o sistema em estudo.

### 2.2. Segunda fase: Rendimento dos módulos

O rendimento dos módulos é disponibilizado pelo fabricante Risen Solar Technology em sua ficha técnica disponível em seu website<sup>23</sup>.

### 2.3. Terceira fase: Geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos módulos

O valor referente a energia média anual gerada pelo sistema foi obtido através do dimensionamento do sistema fotovoltaico realizado pela Paraná Solar Energy, tendo uma geração de energia média mensal de 1.645 kWh/mês, multiplicando por 12 meses, obtêm-se uma geração média anual de 19.740 kWh/ano. Partindo dessa análise, foi possível realizar o cálculo da geração anual de energia, considerando a perda de rendimento dos painéis. Para isso, foi necessário fazer regra de três simples, onde a energia média anual gerada está para 100%, assim como a geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos painéis (incógnita) está para 97,5% que é o rendimento do painel no primeiro ano.

$$G_{aepyr} = \frac{G_{ma} * R_p}{100} \quad (\text{Equação 1})$$

$G_{ma}$  = geração média anual, em kWh/ano;  
 $G_{aepyr}$  = geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos painéis, em kWh/ano;  
 $R_p$  = rendimento dos painéis, em porcentagem.

#### 2.4. Quarta fase: Geração acumulada de energia

Definiu-se a geração acumulada de energia a partir da somatória dos valores de geração anual de energia considerando a perda do rendimento dos painéis ano a ano.

$$G_{ae} = G_{aea} + G_{aepyr} \quad (\text{Equação 2})$$

$G_{ae}$  = geração acumulada de energia, em kWh;  
 $G_{aea}$  = geração acumulada de energia no período anterior, em kWh;  
 $G_{aepyr}$  = geração anual de energia considerando perda de rendimento dos painéis no período considerado, em kWh/ano.

#### 2.5. Quinta fase: Porcentagem de reajuste médio anual de energia

Foi considerado um reajuste anual na tarifa de energia de 6% a.a, baseado na taxa média de reajuste da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANNEL<sup>24</sup>.

#### 2.6. Sexta fase: Custo do kWh sem impostos

O custo do kWh foi obtido através do valor empregado pela Paraná Solar Energy para o dimensionamento do sistema, este estava em vigência no ano de 2015 de acordo com a Copel, sendo acrescido do reajuste médio anual, de acordo com a Equação 3.

$$kWh = kWh_a * 1,06 \quad (\text{Equação 3})$$

$kWh$  = custo do kWh sem impostos, no período, em reais;  
 $kWh_a$  = custo do kWh no período anterior, em reais;  
 $1,06$  = reajuste médio anual.

#### 2.7. Sétima fase: Economia gerada por ano

Foi obtido através da multiplicação da geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos painéis pelo custo do kWh sem impostos.

$$E_{ga} = G_{aepyr} * kWh \quad (\text{Equação 4})$$

$E_{ga}$  = economia gerada por ano, em reais;  
 $G_{aepyr}$  = geração anual de energia considerando perda de rendimento dos painéis, em kWh/ano;  
 $kWh$  = custo do kWh sem impostos, em reais.

#### 2.8. Oitava fase: Economia gerada por ano acumulada

Para obtenção dos resultados foi feito a soma da economia acumulada e da economia gerada por ano.

$$E_a = E_{ap} + E_{gap} \quad (\text{Equação 5})$$

$E_a$  = economia acumulada, em reais;  
 $E_{ap}$  = economia acumulada no período anterior, em reais;  
 $E_{gap}$  = economia gerada por ano no período, em reais.

#### 2.9. Nona fase: Retorno de investimento

Para obtenção dos valores de retorno soma-se o retorno de investimento do período anterior com a economia gerada por ano, no período.

$$\text{Retorno de investimento} = RI_a + E_{gap} \quad (\text{Equação 6})$$

$RI_a$  = retorno de investimento no período anterior, em reais;  
 $E_{gap}$  = economia gerada por ano no período, em reais;

#### 2.10. Décima fase: Geração mensal de energia considerando a perda de rendimento dos módulos

Através dos valores de rendimento dos módulos, obtidos na segunda fase do estudo, da geração média mensal de 1.645 kWh/mês, fornecidos pela Paraná Solar Energy, determinou-se os valores de geração mensal de energia, considerando a perda de rendimento dos módulos através da Equação 7.

$$G_{mepyr} = \frac{G_{mm} * R_p}{100} \quad (\text{Equação 7})$$

$G_{mepyr}$  = geração mensal de energia considerando a perda de rendimento dos módulos, em kWh/mês;  
 $G_{mm}$  = geração média mensal, em kWh/mês;  
 $R_p$  = rendimento dos painéis, em porcentagem.

#### 2.11. Décima primeira fase: Geração real de energia

Os valores referentes a esta fase foram extraídos do banco de dados do inversor e disponibilizados pela Paraná Solar Energy, os mesmos se referem a geração mensal de energia proveniente do sistema fotovoltaico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados para obtenção do retorno de investimento do sistema fotovoltaico foram inseridos numa planilha eletrônica do software EXCEL, desta forma os resultados foram obtidos de forma prática e rápida (Tabela I).

**Tabela 1.** Retorno de investimento.

Período (anos)	Rendimento dos módulos (%)	Geração anual de energia (KWh/ano) considerando perda de rendimento dos módulos	Geração acumulada de energia (KWh)	Porcentagem de reajuste médio anual de energia (%)	Custo do KWh (R\$ sem impostos)	Economia gerada por ano (R\$)	Economia acumulada (R\$)	Retorno de investimento (R\$)
								-91.010
1	97,5	19.247	19.247	6	0,681	13.107	13.107	-77.903
2	96,8	19.108	38.355	6	0,722	13.793	26.900	-64.109
3	96,1	18.970	57.325	6	0,765	14.515	41.416	-49.594
4	95,4	18.832	76.157	6	0,811	15.274	56.690	-34.320
5	94,7	18.694	94.851	6	0,860	16.072	72.762	-18.248
6	94,0	18.556	113.406	6	0,911	16.910	89.672	-1.338
7	93,3	18.417	131.824	6	0,966	17.791	107.464	16.454
8	92,6	18.279	150.103	6	1,024	18.717	126.181	35.171
9	91,9	18.141	168.244	6	1,085	19.690	145.872	54.862
10	91,2	18.003	186.247	6	1,151	20.713	166.585	75.575
11	90,5	17.865	204.112	6	1,220	21.787	188.372	97.362
12	89,8	17.727	221.838	6	1,293	22.916	211.288	120.278
13	89,1	17.588	239.427	6	1,370	24.101	235.389	144.379
14	88,4	17.450	256.877	6	1,453	25.347	260.736	169.726
15	87,7	17.312	274.189	6	1,540	26.655	287.391	196.381
16	87,0	17.174	291.363	6	1,632	28.029	315.419	224.410
17	86,3	17.036	308.399	6	1,730	29.472	344.891	253.882
18	85,6	16.897	325.296	6	1,834	30.985	375.877	284.867
19	84,9	16.759	342.055	6	1,944	32.576	408.453	317.443
20	84,2	16.621	358.676	6	2,060	34.246	442.699	351.690
21	83,5	16.483	375.159	6	2,184	36.000	478.699	387.689
22	82,8	16.345	391.504	6	2,315	37.840	516.540	425.530
23	82,1	16.207	407.711	6	2,454	39.772	556.312	465.302
24	81,4	16.069	423.780	6	2,601	41.796	598.108	506.926
25	80,7	15.932	440.538	6	2,757	43.914	642.256	553.246

Fonte: Dados do trabalho.

### 3.1. Primeira fase: Busca sobre informações do sistema instalado

No sistema em estudo, foram utilizados 48 módulos fotovoltaicos policristalinos interligados em série, obtendo a tensão resultante pela soma das tensões dos respectivos módulos. O acesso dos módulos fotovoltaicos a eletricidade foi feita através de dois tipos de cabos elétricos com diâmetro de 6 mm, sendo um para corrente contínua e outro para corrente alternada, o cabo de corrente contínua é responsável pela ligação entre a caixa de junção existente na parte traseira do módulo e o inversor, já o cabo de corrente alternada faz a conexão entre o inversor e a rede receptora, dentre os dois tipos foram necessários à utilização de 240 metros de cabos, a conexão entre os cabos é feita por 8 conectores MC4 SunHome. Para transformação de CC em CA, utilizou-se dois inversores Fronius Primo 5.0 kWp. A proteção do sistema foi feita através de dois dispositivos de proteção contra surtos -DPS, e para fixação dos módulos foram feitos através de 24 kits para estrutura solar fotovoltaica.

### 3.2. Segunda fase: Rendimento dos módulos

Dados os valores obtidos, constatou-se que os módulos fotovoltaicos não chegam a 100% de rendimento, pois no primeiro ano possuem 97,5%, e no decorrer de sua vida útil há um decaimento no rendimento de 0,7% ao ano.

### 3.3. Terceira fase: Geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos módulos

No primeiro ano estima-se que os módulos fotovoltaicos gerem cerca de 19.247 kWh/ano, com o passar dos anos a geração diminuirá por volta de 138 a 139 kWh/ano, devido ao decaimento do rendimento dos módulos, encerrando o vigésimo quinto ano com geração de 15.930 kWh/ano.

### 3.4. Quarta fase: Geração acumulada de energia

É previsto que o sistema fotovoltaico em estudo gere 440.538 kWh de energia ao término de sua vida útil, conforme dados da Tabela I.

### 3.5. Quinta fase: Porcentagem de reajuste médio anual de energia

Utilizou-se um reajuste médio anual de 6%, conforme apresentado na quinta fase dos materiais e métodos.

### 3.6. Sexta fase: Custo do kWh sem impostos

O valor do kWh cobrado pela Copel no ano de 2015 era de R\$ 0,68, com uma previsão de chegar a R\$ 2,75, no vigésimo quinto ano, conforme dados apresentados na Tabela I.

### 3.7. Sétima fase: Economia gerada por ano

Nesta fase foi possível obter a economia que o siste-

ma proporciona. No primeiro ano a previsão de economia é de R\$ 13.107,00. Este valor aumenta em função da geração de energia ao longo do tempo e do custo do kWh.

### 3.8. Oitava fase: Economia gerada por ano acumulada

É proveniente do somatório das economias geradas durante a vida útil do sistema, ou seja, 25 anos, resultando em R\$ 644.256,00.

### 3.9. Nona fase: Payback descontado

Fase em que o investimento realizado para obtenção do sistema fotovoltaico foi de R\$ 91.010,00. De acordo com o método de cálculo adotado, o retorno do investimento ocorre no sétimo ano. Portanto, do sétimo ano ao vigésimo quinto ano, a previsão de geração do sistema é de R\$ 551.023,00 de lucro.

Para a comparação entre a geração anual de energia, considerando a perda de rendimento dos módulos com a geração real de energia do sistema, foram inseridos em uma tabela do EXEL os dados dos períodos em anos, dos rendimentos dos módulos em porcentagem, geração anual de energia considerando a perda de rendimento dos módulos em kWh/ano e a geração real do sistema em kWh.

**Tabela 2.** Comparação entre a geração mensal de energia considerando a perda de rendimento dos módulos com a geração real de energia do sistema.

Período (mês)	Rendimento dos módulos (%)	Geração mensal de energia (KWh/mês) considerando perda de rendimento dos módulos	Geração real de energia (KWh)
1	97,5	1.604	554
2	96,8	1.592	821
3	96,1	1.581	1.700
4	95,4	1.569	1.550
5	94,7	1.558	955,92
6	94,0	1.546	1.080
7	93,3	1.535	1.370
8	92,6	1.523	1.290

Fonte: Dados do trabalho.

### 3.10. Décima fase: Geração mensal de energia considerando a perda de rendimento dos módulos

Os valores obtidos nesta fase, referem-se à geração mensal de projeto. No primeiro mês, a geração prevista era de 1.604 kWh/mês. Devido ao decaimento do rendimento do sistema, o oitavo mês deveria terminar com uma geração de 1.523 kWh/mês. Portanto, verificou-se que houve uma perda na geração de 11 a 12 kWh/mês.

### 3.11. Décima primeira fase: Geração real de energia

Constatou-se que o sistema teve uma geração de energia abaixo do esperado de acordo com o dimensionamento. Dentre os oito meses em estudo, somente no terceiro mês houve uma geração superior ao previsto, com valor de 1.700 kWh/mês.

## 4. CONCLUSÃO

Através dos valores obtidos por meio de estudo, tornou-se possível verificar que o investimento do sistema de geração fotovoltaica comercial é economicamente viável, pois o investimento inicial de R\$ 91.010,00 representa, 14,18% do valor real gerado que foi de R\$ 644.256,00. Assim verificou-se que os 85,87% deste mesmo valor, representa a economia gerada com a implantação do sistema. Que além de ser um meio de diversificação na geração de energia, reduz os impactos ambientais causados pela produção e uso de energia, não gerando qualquer tipo de efluente sólido, líquido ou gasoso durante a produção.

Em relação à comparação entre a geração mensal de energia, considerando a perda de rendimento dos módulos com a geração real de energia do sistema, observa-se que os valores de geração real estão abaixo dos valores dimensionados. Somente no terceiro mês, foi observado que a geração real ultrapassou em 119 kWh o valor dimensionado. No entanto, o sistema gera uma quantidade significativa de energia, quando o mesmo não supre a demanda do estabelecimento, paga-se o utilizado para a, concessionária, no caso em que a geração do sistema excede a demanda, a energia é injetada na rede da concessionária.

A tecnologia fotovoltaica, no entanto precisa ser incentivada através da implementação de políticas públicas, pois traz benefícios econômicos e ambientais ao utilizar uma fonte de energia gratuita e renovável.

## REFERÊNCIAS

- [1] Mousquer JVM, Maciel R. Meio ambiente e sustentabilidade. In: XXI Seminário de Iniciação Científica; 2013.
- [2] Entendendo o meio ambiente. [acesso 4 jul 2016] Disponível em: [http://www.ecclesia.com.br/biblioteca/fe\\_e\\_meio\\_ambiente/principais\\_conferencias\\_internacionais\\_sobre\\_o\\_meio\\_ambiente\\_e\\_documentos\\_resultantes.html](http://www.ecclesia.com.br/biblioteca/fe_e_meio_ambiente/principais_conferencias_internacionais_sobre_o_meio_ambiente_e_documentos_resultantes.html)
- [3] A ONU e o meio ambiente. [acesso em 4 jul 2016] Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>

- [4] Barbosa GS. O desafio do desenvolvimento sustentável. [artigo] Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [5] Mota JA. Trajetória da Governança Ambiental. Ipea regional e urbano | 01 | dez. 2008. [acesso em 10 jul 2016] Disponível em [http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim\\_regional/081207\\_boletimregional\\_1\\_cap3.pdf](http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/081207_boletimregional_1_cap3.pdf).
- [6] Udaeta MEM, Inatoni TAH. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. [artigo] São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [7] Menkes M. Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade. [tese] Brasília: Universidade de Brasília; 2004.
- [8] Jacobi P. Meio Ambiente e Sustentabilidade: O Complexo Desafio da Sustentabilidade. [acesso em 10 jul 2016] Disponível em: <http://franciscoqueiroz.com.br/portal/phocadownload/desenvolvimento%20sustentavel.pdf>.
- [9] Jacobi P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. [artigo] São Paulo: Universidade de São Paulo.
- [10] Reis LB. Geração de energia elétrica. 2ª ed. São Paulo: Manole; 2011.
- [11] Rütther R, Salamoni IT, Marinoski DL. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso no edifício sede do CREA-SC. [artigo] Trindade: Universidade Federal de Santa Catarina.
- [12] Villalva MG. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2015.
- [13] Energia solar fotovoltaica cresceu quase 30% no mundo em 2014. Ministério de minas e energia. [acesso 8 jul 2016] Disponível em: [http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-fotovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-fotovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014).
- [14] Tiepolo GM, Junior JU, Pereira ÊB, Pereira SV, Alves AR. Potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná – resultados parciais. [artigo] Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [15] Empresa de Goioerê é uma das primeiras do Paraná a se tornar 100% autossustentável em energia. [acesso 8 jul 2016] Disponível em: <http://portalgoioere.com.br/site/empresa-de-goioere-e-um-a-das-primeiras-do-parana-a-se-tornar-100-autossustentavel-em-energia/>
- [16] Silva CG. De sol a sol: energia do século XXI. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2010.
- [17] Pereira EB, Martins FR, Abreu SL, Rütther R. Atlas brasileiro de energia solar. 1º ed. São José dos Campos: INPE; 2006.
- [18] Pereira OLS, Gonçalves FF. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de Tubarão-SC. [tese] Salvador: Universidade de Salvador.
- [19] Vasconcelos VB. Estudo de implantação de um sistema de microgeração distribuída residencial. [monografia] Serra: Instituto Federal do Espírito Santo; 2013.
- [20] Pinho JT, Galdinho MA. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. CEPTEL – CRESESB. Edição Revisada e Atualizada. Rio de Janeiro. 2014. [acesso em 12 jul 2016] Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/m/manual-de-engenharia-para-sistemas-fotovoltaicos-2014/.pdf>.
- [21] Carneiro J. Electromagnetismo B Módulos Fotovoltaicos Características e Associações. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 1º Semestre. 2010. [acesso em 12 jul 2016] Disponível em: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos\\_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf).
- [22] Dassi, JÁ, Zanin A, Bagatini FM, Tibola A, Barichello R, Moura GD. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma instituição de ensino superior do sul do Brasil. In: XXII Congresso Brasileiro de Custos; 2015; 11 a 13 nov; Foz do Iguaçu.
- [23] High performance polycrystalline module. [acesso 10 jul 2016] Disponível em: [http://www.risenenergy.com/upload/s\\_20160905012921.pdf](http://www.risenenergy.com/upload/s_20160905012921.pdf)
- [24] Furtado LDGC, Furtado JPC, Martinez CB. Análise de sustentabilidade para geração fotovoltaica distribuída em residências de Belo Horizonte. [artigo] Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais.